

人力飛行機用強化繊維プラスチック製プロペラの成型

岩 崎 洋 平¹・中 村 俊一郎²

¹第一工業大学 学部学生 航空宇宙工学科

²第一工業大学 客員教授 航空宇宙工学科

(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail: s-nakamura@daiichi-koudai.ac.jp

Form a Propeller made by fiber reinforced plastic for Man-powered Airplane

Yohei Iwasaki¹, Shunichiro Nakamura²

¹ Undergraduate, ² Guest Professor,

Dept. of Aeronautics Eng., Daiichi Univ. of Technology

(Kokubu-Chuo 1-10-2, Kirishima-shi, Kagoshima-ken 899-4395, Japan)

E-mail: s-nakamura@daiichi-koudai.ac.jp

Man-powered airplane is powered by direct human energy which rotate propeller for yield thrust and lift force to the airplane. The airplane should be light in weight and have large area wing for flight at slow velocity that is produced by small human-power. In this paper, manufacturing procedure of lighter propeller made by fiber reinforced plastic is reported. Many difficulties to form the propeller are pointed out. Some ideas are required to solve these difficulties.

Key words : Man-powered airplane, form a propeller, fiber reinforced plastic

1. はじめに

繊維強化プラスチック（以下 FRP）は比強度・比剛性に優れ、軽量化を要求される構造に多く使用されている。人力飛行機は人間の出せるエネルギーが大きいこともあり軽量の機体にすることが非常に重要なため FRP が多くの箇所に使われている¹⁾。人力飛行機に使われる FRP はエポキシ樹脂を炭素繊維またはガラス繊維で強化したものが大半である。プロペラは形状が複雑なこともありまた、万一の破損でも安全を保てるガラス繊維強化プラスチック（以下 GFRP）および強度の高い炭素繊維強化プ

ラスチック（以下 CFRP）で外皮を製作することが多いが、その製作においては多くの課題が生じ、それらを解決するために多くの工夫が求められる。本報告ではこれらの困難と解決のため、プロペラの成型においては「真空引き」製法を採用し、複雑な外皮の形状に対応したのでその概要を示す。

2. プロペラ製作における問題点

プロペラの製作は以下の手順でおこなう。CFRP パイプの桁に、翼断面をした多数のリブを通し、プロペラのねじり形状にあわせて一定間隔で配置す

る。リブ間を翼断面形状の発砲スチロールで埋めて、プロペラ全体形状コアを決める。この全体形状コアの表面に外皮を貼る。外皮はカーボン繊維織物材(以下 CF クロス材)にエポキシ樹脂を含浸させた「生の CFRP」と、ガラス繊維織物材(以下 GF クロス材)にエポキシ樹脂を含浸させた「生の GFRP」をコアに貼りつけ常温で樹脂を硬化させ作る。しかし生の CFRP と生の GFRP を全体形状コアに貼りつける際、手で押しつける程度の処理しか行ってこなかった。そのため「スラスト面」と呼ばれる翼下面のくぼみに硬化した CFRP と硬化した GFRP が貼り付かず、浮いて、発砲スチロールとの間に隙間ができてしまった。これを解消するためには成型後「貼り付いてない箇所を削り取り、また生の CFRP および生の GFRP を、切り取った箇所に貼り付け硬化成型する」という作業を繰り返していた。この繰り返しにより左右のプロペラで重量、重心、形状にアンバランスが生じ、静バランス、動バランスおよび推力に問題を生じた。

問題点を整理すると、スラスト面に硬化した CFRP と硬化した GFRP が貼り付かない(図1)ことにより ①「重心位置がバラツキ、かつ重量が増加する」ことになる。また、生の CFRP と生の GFRP の段階で、余分なエポキシ樹脂の除去が十分に行え



図1 成型後のスラスト面



図2 全面に渡り液垂れしたエポキシ樹脂

ず、重量の増加および硬化の際の液垂れ(図2)(図3)が発生する。硬化後のエポキシ樹脂は硬く、これを綺麗に除去するのは難しいことから、外皮表面が波打って乱れたままとなり②「設計最大推力が出ない」ことになる。



図3 氷柱状に液垂れし硬化したエポキシ樹脂

3. 問題点の解決策

この二つの問題点解消をするためには、余分なエポキシ樹脂を除去しつつ、生の CFRP と生の GFRP をコアに圧着しなくてはならない。そのために樹脂含浸後の硬化を行う際に、「真空引き」による大気圧での圧着をすることとした。

「真空引き」とはプロペラ全体形状コアに生の CFRP と生の GFRP を貼り付け、これをプラスチック袋に入れ、袋中の空気を真空ポンプ(今回は掃除機を使用した)で抜くことにより、大気圧でプラスチック袋を介して生の CFRP と生の GFRP をコアに圧着させるものである。エポキシ樹脂は真空引きをした状態で、常温硬化またはヒートンクブランク加熱硬化させる。これにより2項で示した二つの問題点を解消出来ないか試みる。

4. 予備実験

実際よりねじりの少ない形状の小型プロペラを、コアに生の GFRP のみを真空引きにより貼り付ける方法で製作し、上記問題が解決できることを確かめることとした。

(1) 必要な資材

- 布団圧縮袋(プラスチック袋の代用): 図4
- 掃除機(真空ポンプの代用)
- ブリーザークロス(エポキシ樹脂を吸い取る生地): 図4
- ピールプライ(エポキシ樹脂がプライを濡ら

すことなく素通しするという性質を持った生地、これにより成型後、硬化したGFRPから余分なエポキシ樹脂を剥ぎとる離型剤の役割を持つ）：図4

- e. ホットカーペット（ヒーティングブランケットの代用）
- f. 麻縄（成型するプロペラの全周に真空引きが行き渡るよう置く物）
- g. GFRPクロス材：図4
- h. 2液混合型エポキシ樹脂（図5）

（2）製作手順

- a. 生の GFRP および各生地の巻きつけ

プロペラ全体形状コアに内側から生の GFRP、ピールブライ、ブリーザークロスの順番で巻く。



図4 手前左：ブリーザークロス、手前右：ピールブライ、奥左：GFRPクロス材、奥右：布団圧縮袋



図5 エポキシ樹脂（ブレニ技研製²⁾）

右：主剤 左：硬化剤

エポキシ樹脂型番：GM-6600（ガラスクロス用）、GM6800（カーボンクロス用）

混合比 主剤：硬化剤 = 100：30

硬化条件：常温で7日または60℃で2時間

- b. 真空引き

生の GFRP 外皮と各生地を巻きつけたプロペラ全体形状コアを、空気の通り道を確保するために全周に置いた麻縄と一緒に布団圧縮袋に入れ、チャックをしっかりと閉じて掃除機により中の袋の空気を抜き、大気圧で生の GFRP とプロペラ全体形状コアを圧着させる。一緒に入れる麻縄は袋全体の空気の通り道を確保するためである。



図6 大気圧による圧着（スラスト面）

これにより空気吸出し口周りだけでなく、袋の奥の空気も吸い出すことができる。（図6）（図7）



図7 大気圧による圧着（上面）

- c. 加熱成型

ホットカーペットを用いエポキシ樹脂を加熱硬化させ、プロペラ形状に成型する。今回使用するエポキシは硬化温度を60℃にすると時間の促進ができる。しかしホットカーペットが出せる温度は50℃とされており、少し足りないが布団圧縮袋全体に断熱材や毛布を巻きつけることによりこれ以上の温度低下を防ぐことにした。（図8）



図8 加熱によるエポキシ樹脂の硬化

(3) 予備試験の結果

予備実験の結果(図9)、GFRPはコアに圧着されて、外皮は磨がれたように滑らかになっている。懸念されていたスラスト面も一様にクロスが張り付いて硬化している。また、余分な樹脂はブリーザークロスに吸着されて液垂れもなく、真空引きは問題点の解決に有効なことが判った。

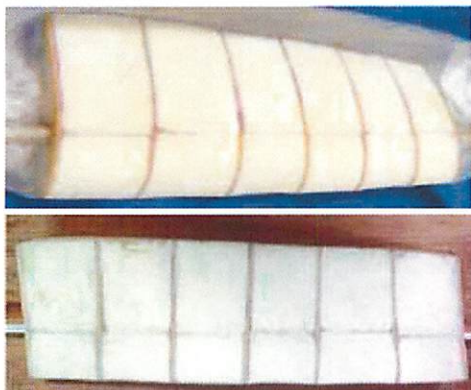


図9 予備試験のプロペラ(上面、スラスト面)

5. 人力飛行機用プロペラの製作

予備実験の結果をうけ、同じ製作手順で人力飛行機用プロペラを製作する。予備実験と異なるところはプロペラ全体形状コアが大きくなり、かつ強いねじりついていること、およびCFRPとGFRPがコアに圧着されていることである。

(1) 生のGFRP(樹脂GM-6600)と生のCFRP(樹脂GM6800)の貼り付け

まず、プロペラ全体形状コアのスパン方向とコード方向に、生のGFRPをクロス材の繊維方向が来るように貼り付け、その外側に繊維方向がGFRPと45°になるように生のCFRPクロス材を貼り付けた。(図10)

(2) プロペラの製作

上記以外の必要な資材および製作手順の要領は予備実験と同じである。真空引きの状態を図11に示す。製作したプロペラを図12に示す。製作したプロペラは、ねじりのきつい部分にしわ(図13)ができたこと、および後縁部分をCFRPとGFRPが巻き込んだまま(図14)成型されてしまった。しかし、CFRPとGFRPとはコアに圧着されており、また、余分な樹脂の液垂れもなく、当初の問題は解決したが、新たな問題も生じた。



図10 GFRPとCFRPの二層構造



図11 真空にした状態



図12 製作したプロペラ



図13 繊維のしわ



図1-4 巻き込みが生じた後縁

6. 考察

プロペラ製作は当初の問題を解決したが、予想していない問題も生じてしまった。

しわの主要な原因としては、ねじりのきつい部分であること、および使用したCFクロス材は厚さ0.9mmと予備実験で使用したGFクロス材の0.3mmより厚いことなどが考えられる。この問題は、生のCFRPと生のGFRPを貼り付ける際にクロス材の特徴を生かしてしわを手でしっかり伸ばすことにより解決できると考えられる。後縁の巻き込みの問題はブリーザークロスおよびピールプライを巻く時に注意することにより解決できると考えられる。

「真空引き」製法の成果を踏まえ、プロペラ以外の人力飛行機のFRP部品についても真空引きを導入した成型を行った。

(1) パイロットシート

コクピットにあるパイロットが座るシートはこれまでスタイロフォームを充填剤としCFクロス材にエポキシ樹脂を含浸させた「生のCFRP」を積層し硬化させ成型してきた。複雑な三次元形状なので、生のCFRPをローピングにより固定できないため、手でスタイロフォームに貼りつけたままの成型となっていた。今回は充填剤を発泡スチロールにし、生のCFRPを巻き、真空引きにより加圧し成型した。(図1-5)

結果としてはこれまでのシートの1340gに比べ、今回製作したシートは890gとなり450gの軽量化となり良い結果を得られた。

この差は余分な樹脂を除けたこと、および発泡スチロールの比重は0.706でスタイロフォームの比重を1より小さいことが寄与していると考えられる。



図1-5 真空引きした状態のシート

(2) 尾翼取付部

尾翼取付部は金具を胴体中空パイプに取り付ける際、金具とパイプの隙間を木材で埋めていたが、今回は金具とパイプの隙間をスタイロフォームで充填し、生のCFRPで巻き、真空引きして加圧し成型した。尾翼取付部はプロペラやシートと違い、長い中空パイプに立体物が付いている構造であり、布団圧縮袋などに丸々入れることが出来ない。そこで生のCFRPで巻き付けた部分を耐熱ビニール袋で覆い、両面テープなどで袋を密閉し真空引きした。空気が隙間から袋の中に入り真空引きが十分出来なかったが、水平尾翼取付部を真空引きし(図1-6)、成型したものと(図1-7)、垂直尾翼取付部を生のCFRPで巻いたままで成型したもの(図1-8)との差は歴然としている。真空引きによる成型は外皮表面が平滑で、エポキシ樹脂だまりも見られない。



図1-6 真空引き時の水平尾翼取付部



図17 真空引き成型した水平尾翼取付部



図18 真空引きをせず成型した垂直尾翼取付部

これにより十分な真空引きができなくとも、ブリーザークロスとピールプライである程度の余分なエポキシを除去出来るという結果が得られた。

以上により真空引きによる FRP 部品の成型は大変有用であることが判った。

7. まとめ

今回導入した真空引きによる FRP 部品の成型は人力飛行機の製作において重量軽減や表面が平滑な成型品ができる点で大変有用であることがわかった。今後もこの技術を煮詰めることにより人力飛行機の更なる軽量化と性能向上を図って行きたいと考えている。新たに生じた課題についても解決すべく、一層努力し製作活動に励みたい。

本報告を行うに当たり共に作業をしていただいた第一工業大学航空機設計研究部の仲間に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 中村俊一郎、田中宏幸: 人力飛行機的设计・製作; 第22号 (2010) pp.31-39
- 2) 製品カタログ; 有限会社ブレニー技研Web